

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-216920

(43)Date of publication of application : 27.08.1993

(51)Int.Cl.

G06F 15/31

G06F 15/353

(21)Application number : 04-047454

(71)Applicant : YAMAHA MOTOR CO LTD

(22)Date of filing : 03.02.1992

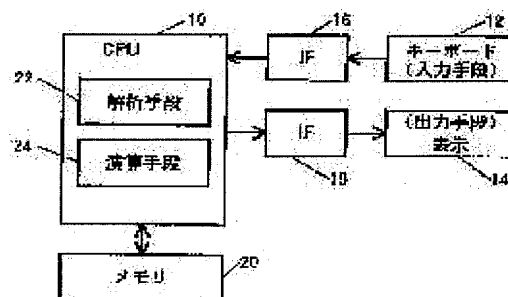
(72)Inventor : SUGIYAMA SHIGERU
OTAKI TAKASHI

(54) DEVICE FOR ANALYZING STABLE SHAPE OF LINEAR MEMBER

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide an analyzing device which can quickly predict a stable shape when a linear member restricted at its both ends is large deformed and also can reduce the necessary memory capacity.

CONSTITUTION: This device is provided with an input means 12 for inputting the data relating to a linear member and the restricting conditions of both ends of the linear member, an analyzing means 22 which divides the linear member into an optional number of quality points and the beams having no mass and obtains a force balancing formula applying the beam logic to each quality point, an arithmetic means 24 which calculates the coordinates and the azimuth of each quality point by solving the balancing formula based on the restricting conditions of both ends of the linear member, and an output means 14 which outputs the space stable shape of the linear member based on the coordinates and the azimuth of each quality point obtained by the means 24.



(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-216920

(43)公開日 平成5年(1993)8月27日

(51)Int.Cl.⁵

G 0 6 F 15/31
15/353

識別記号

Z 8320-5L
8320-5L

片内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数1(全11頁)

(21)出願番号 特願平4-47454

(22)出願日 平成4年(1992)2月3日

(71)出願人 000010076

ヤマハ発動機株式会社
静岡県磐田市新貝2500番地

(72)発明者 杉山 滋

静岡県磐田市新貝2500番地 ヤマハ発動機
株式会社内

(72)発明者 大滝 尚

静岡県磐田市新貝2500番地 ヤマハ発動機
株式会社内

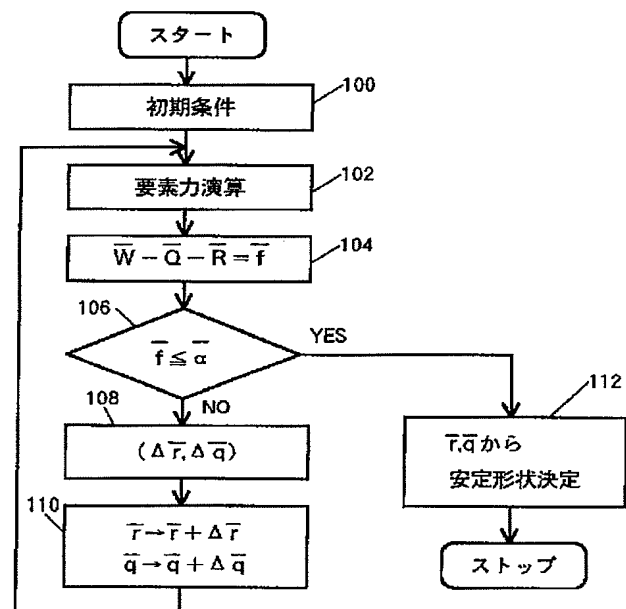
(74)代理人 弁理士 山田 文雄 (外1名)

(54)【発明の名称】 線状部材の安定形状解析装置

(57)【要約】

【目的】 両端が拘束された線状部材の大変形時の安定形状を迅速に予測でき、必要メモリの容量も小さくできる線状部材の安定形状解析装置を提供する。

【構成】 前記線状部材に関するデータおよび両端の拘束条件を入力する入力手段と、前記線状部材を任意数の質点と質量を持たない梁に分割し各質点に対し梁理論による力の釣り合い式を求める解析手段と、前記両端の拘束条件を用いて前記釣り合い式を数値計算法により解くことにより各質点の座標および方位を求める演算手段と、前記演算手段で求めた各質点の座標および方位を用いて線状部材の空間安定形状を出力する出力手段とを備える。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 両端が拘束された線状部材の安定形状を求めるための装置であって、前記線状部材に関するデータおよび両端の拘束条件を入力する入力手段と、前記線状部材を任意数の質点と質量を持たない梁に分割し各質点に対し梁理論による力の釣り合い式を求める解析手段と、前記両端の拘束条件を用いて前記釣り合い式を数値計算法により解くことにより各質点の座標および方位を求める演算手段と、前記演算手段で求めた各質点の座標および方位を用いて線状部材の空間安定形状を出力する出力手段とを備えることを特徴とする線状部材の安定形状解析装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、車両のブレーキホースなどの可撓性を有する線状部材を両端で保持する場合に、両端の拘束条件を変化させた時の安定形状を求めるための解析装置、すなわち線状部材の安定形状解析装置に関するものである。

【0002】

【従来技術】車両のブレーキホースは、操舵時や車輪の上下動時に大きく変形する。同様にブルドーザなどの土木機械の油圧ホースや空気圧ホース、工業用ロボットなどの油圧・空気圧ホースや電線なども、機械の作動に伴って大きく変形する。

【0003】このように大きく変形する可撓性の線状部材では、変形時に他の部品と干渉しないか、強度寿命上制限される変形の範囲内にあるかなどを注意深く確認する必要がある。従来、これら線状部材のレイアウトの検証には、モックアップや実車を用いた現物による確認方法が採られてきたが、近年コンピュータシミュレーションの有効性が示され、適用例も報告されるようになった。これらの手法は、微分幾何学による三次元曲線モデルを用いたものと、有限要素法を使った大変形解析または動解析を適用したものに大別される。

【0004】

【従来技術の問題点】前者の三次元曲線モデルを用いる方法は微分幾何学を主体としているため、材料物性や断面性能（断面積、断面二次モーメントなど）のような力学的パラメータを検討しにくい難点がある。また、後者の有限要素法を用いる方法は、多くの計算時間を要するという問題がある。

【0005】すなわち有限要素法はもともと物体に発生する応力を知ることを目的とし、小さく分けた各要素の変位を独立変数にとって要素力を求めている。このためホースのような大変形を起こす物体の場合には、ホースの一方の端点を固定し、荷重のかかっていない初期状態（真直な状態）から少しずつ他方の端点を移動させて意図した拘束条件になるまで繰り返し計算を行わねばならない。節点の新しい座標は変位ともとの座標から計算さ

れ、これが順次繰り返される。変形が大きければそれだけ計算量も増えることになる。

【0006】また、ブレーキホースなどはゴムでできており、材料が非線形性をもつことが予想される。有限要素法では、材料非線形を表現するために高次要素を使うことができるが、これは自由度すなわち独立変数を増やすことになり、計算時間が極端に増大する。実際に計算機で計算を行う際に最も時間がかかるのは連立方程式を解く部分である。計算時間は、解法にもよるが一般には元数の二乗に比例する。また、元数が増えるということは同時に必要メモリの増加を意味する。一般に必要なメモリは元数の二乗に比例する。このため計算が膨大になり必要メモリも大きくなり、大容量の計算機が必要になる。

【0007】

【発明の目的】本発明はこのような事情に鑑みなされたものであり、線状部材の大変形時の安定形状を迅速に予測でき、必要メモリの容量も小さくできるようにした線状部材の安定形状解析装置を提供することを目的とする。

【0008】

【発明の構成】本発明によればこの目的は、両端が拘束された線状部材の安定形状を求めるための装置であって、前記線状部材に関するデータおよび両端の拘束条件を入力する入力手段と、前記線状部材を任意数の質点と質量を持たない梁に分割し各質点に対し梁理論による力の釣り合い式を求める解析手段と、前記両端の拘束条件を用いて前記釣り合い式を数値計算法により解くことにより各質点の座標および方位を求める演算手段と、前記演算手段で求めた各質点の座標および方位を用いて線状部材の空間安定形状を出力する出力手段とを備えることを特徴とする線状部材の安定形状解析装置により達成される。

【0009】

【発明の原理の概要】本発明では要素質点の座標・方位を独立変数にとって演算している。これは求めるべきものがホースなどの形状（質点の座標）であり、これを独立変数にとることが自然であると考えたからである。質点は6つの自由度（並進3、回転3）を持ち、三次元空間内を大変位する。要素力は質点の相対変位から梁理論より求められ、これらの要素力の静的な釣り合い方程式を解いて空間安定形状を決定している。この手法では、両端の座標・方位の拘束条件を境界条件として指定できるため、反復計算は必要ない。これが本発明の装置の演算が高速になる理由である。

【0010】一方、独立変数の数はなるべく小さく抑えることが望ましい。しかしながら、たとえゴムのような非線形材料でも、変形量が微小であれば歪みと応力の関係は線形として扱えることが知られている。そこで本発明の装置では、要素分割を十分に細かくすることによ

り、歪と応力の関係を線形として扱えるようにし、要素を線形梁として扱っている。その結果、独立変数の数を少なくすることができた。これが演算を高速にできる第二の理由である。

【0011】

【計算モデル】ブレーキホースの長さ、重量、ホースの両端の支持位置および方位が与えられた場合におけるホースの安定形状を求める問題を対象とする。ホースをセットする時にはホース自体は大変位をするが、セットされた状態では各部の変形は小さいと想定される。さらにホースの荷重・変形特性は、変形量が微小な領域では線形として扱うことができる。以上を考慮して、以下のモデルを設定した。図1はこの計算モデルを示す模式図である。

i) ホース全体はいくつかの連続した梁で構成され、隣接する梁は質点によって連結されている。

ii) 質点は6自由度（並進3、回転3）を有し、三次元*

$$W_i - Q_i - R_i = O_i, \quad i = 2, 3, \dots, n-1 \quad (1)$$

ここで、

W_i : 質点 i に働く等価重量ベクトル

Q_i : 梁要素 ($i-1$) に働く要素力ベクトル

R_i : 梁要素 (i) に働く要素力ベクトル

O_i : 零ベクトル

【0014】これらの成分表示は次の通りである。ただし {...} は列ベクトルを示し、行ベクトルの転置を表す。

$$\text{ベクトル } P = \{P_2^T \ P_3^T \ P_4^T \ \dots \ P_i^T \ \dots \ P_{n-1}^T\} \quad (2)$$

ここで、 P_i : 質点の位置・方位ベクトル

$$= \{r_i^T \ q_i^T\}$$

r_i : i 質点の位置ベクトル

$$= \{x_i \ y_i \ z_i\}$$

q_i : i 質点の方位ベクトル

$$= \{q_{0i} \ q_{1i} \ q_{2i} \ q_{3i}\}$$

また q_i はオイラーパラメータで表示したものであり、この点は次節で解説する。

【0016】(1) 式を構造全体系 ($i = 2, 3, \dots, n-1$) に拡張すると、次のようになる。

$$q_i^T q_i - 1 = 0, \quad i = 2, 3, \dots, n-1 \quad (4)$$

【0018】なお、ホース両端は境界条件として、次のようになる。

ベクトル P_1 = ベクトル P_{1c}

ベクトル P_n = ベクトル P_{nc} (5)

但し、ベクトル P_{1c} 、ベクトル P_{nc} は既知である。

【0019】

【オイラーパラメータ】次に、座標系の方位の表記法として用いるオイラーパラメータを説明する。オイラーパラメータはオイラー角のような各座標軸を三回回転してセットする方法と違い、回転方位軸と呼ばれるある唯一の回転軸を一回回転することでセットできる方法である。図4はこの表記法の説明図であり、この図に示すよ

* 空間内を大変位する。質点の変位に伴い梁が変形し、それに応じて質点に力が働く。

iii) 最小ポテンシャルエネルギーの原理、即ち、質点力の静的な平衡を解けば位置・形状が求まる。

【0012】このモデルでは、比較的自由度が少ないため演算速度の点で有利である。また、質点の運動的イメージと梁理論との組み合わせにより、物理的直感が得やすい特徴もある。

【0013】

【基礎方程式】ホースを n 個の質点と $n-1$ 個の梁要素によって図1のようにモデル化し、各質点における力の静的平衡状態に着目する。各質点の位置ベクトル・方位ベクトル (r_i, q_i) は自由に動き得るが、力がつり合った状態では静止する。その時の i 番目の質点での力の釣り合い式は、全体座標系表示で次のようになる。この時の質点での力の釣り合いが図2に、また要素力の各成分が図3に模式的に示されている。

※ベクトル $W_i = \{0 \ W_i \ 0 \ 0 \ 0 \ 0\}$

20 ベクトル $Q_i = \{Q_{Xi} \ Q_{Yi} \ Q_{Zi} \ Q_{Li} \ Q_{Mi} \ Q_{Ni}\}$

ベクトル $R_i = \{R_{Xi} \ R_{Yi} \ R_{Zi} \ R_{Li} \ R_{Mi} \ R_{Ni}\}$

ベクトル $O_i = \{0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0\}$

【0015】次に、位置・方位ベクトルを以下のように定義する。ここに T は転置を意味する。

$$\star W - Q(P) - R(P) = 0 \quad (3)$$

ここで、

30 ベクトル $W = \{W_2^T \ W_3^T \ W_4^T \ \dots \ W_{n-1}^T\}$

ベクトル $Q = \{Q_2^T \ Q_3^T \ Q_4^T \ \dots \ Q_{n-1}^T\}$

ベクトル $R = \{R_2^T \ R_3^T \ R_4^T \ \dots \ R_{n-1}^T\}$

ベクトル $O = \{O_2^T \ O_3^T \ O_4^T \ \dots \ O_{n-1}^T\}$

【0017】(3) 式はベクトル P を独立変数とする $(n-2)$ 個の非線形連立方程式であり、これが基礎方程式となる。但し、オイラーパラメータの性質により、以下の式を満たす必要がある。

うに、この回転方位軸方向の単位ベクトルを a 、回転角を θ とすると、オイラーパラメータは次のように定義される。ここに上線を付した符号はベクトルを示す。以下同様である。

【数1】

$$\underline{q} \equiv \{q_0 \ q_1 \ q_2\}$$

$$= \begin{Bmatrix} q_0 \\ \underline{q}' \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \cos \frac{\theta}{2} \\ \underline{a} \cdot \sin \frac{\theta}{2} \end{Bmatrix} \quad (6)$$

【0020】(6)式により、ベクトル q^T とベクトル q との間の条件式として次式を得る。

$$q^T q - 1 = 0 \quad (7)$$

また、X-Y-Z系より $\xi-\eta-\zeta$ 系への座標変換(方*

$$[A] = \begin{bmatrix} 2(q_0^2 + q_1^2) - 1 & 2(q_1 q_2 + q_0 q_3) & 2(q_1 q_3 - q_0 q_2) \\ 2(q_1 q_2 - q_0 q_3) & 2(q_0^2 + q_2^2) - 1 & 2(q_2 q_3 + q_0 q_1) \\ 2(q_1 q_3 + q_0 q_2) & 2(q_2 q_3 + q_0 q_1) & 2(q_0^2 + q_3^2) - 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

【0021】以上のようにオイラーパラメータは三角関数を用いていないため、計算速度の点で有利である。またオイラー角のように特定の軸まわりの回転を表現できないという欠点もなく、信頼性が高いと考える。

【0022】

【要素力の求出】

【0023】(1)式の要素力ベクトル Q_i 、 R_i は次のようにして求める。ここでは簡便化のため、二次元のモデルで概説する。質点 i における質点座標系 $\xi_i - \eta_i$ 、および質点 i と $i+1$ で形成される要素座標系 $x' - y'$ を図5のように定義する。図6は要素座標系※20

$$\text{ベクトル } S_i = [K_i] \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (9)$$

但し、 $[K_i]$ は、梁要素 i の剛性マトリックスであり、以下のように表される。

$$[K_i] = \frac{E}{l^3} \begin{bmatrix} A_0 l^2 & & & & & \\ 0 & 12 I_z & & & & \\ 0 & 6 I_z l & 4 I_z l^2 & & & \\ -A_0 l^2 & 0 & 0 & A_0 l^2 & & \\ 0 & -12 I_z & -6 I_z l & 0 & 12 I_z & \\ 0 & 6 I_z l & 2 I_z l^2 & 0 & -6 I_z l & 4 I_z l^2 \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} \text{対称} \end{matrix}$$

【0025】ここで、 E ：縦弾性係数

A_0 ：断面積

I_z ：断面二次モーメント

l ：要素長

$$= \| r_{i+1} - r_i \|$$

(但し、要素 i に関して)

また、 ε_i 即ち、ベクトル δ_i 、 δ_{i+1} は次式より求まる。

*向余弦)マトリックス $[A]$ として次式を導くことができる。

【数2】

10※表示での要素力を示す図であり、この図に示すように、要素座標系表示での要素力ベクトルを次のように置く。

$$\text{ベクトル } R'_i = \{ R X'_i \quad R Y'_i \quad R N'_i \}$$

$$\text{ベクトル } Q'_{i+1} = \{ Q X'_{i+1} \quad Q Y'_{i+1} \quad Q N'_{i+1} \}$$

$$\text{ベクトル } S_i = \{ R'_i{}^T \quad Q'_{i+1}{}^T \}$$

【0024】また、微小変形ベクトルを

$$\text{ベクトル } \delta_i = \{ u_i \quad v_i \quad \phi_i \}$$

$$\text{ベクトル } \varepsilon_i = \{ \delta_i{}^T \quad \delta_{i+1}{}^T \}$$

とすれば、梁理論より次の剛性方程式が得られる。

★【数3】

$$\star \text{ベクトル } \delta_i = \{ 0 \quad 0 \quad \theta_i \quad -\gamma_i \}$$

$$\text{ベクトル } \delta_{i+1} = \{ l_i \quad -l_0 i \quad 0 \quad \theta_{i+1} \quad -\gamma_i \}$$

ここで、 l_i ：梁要素 i の長さ

$l_0 i$ ：梁要素 i の自由長

【0026】(9)式よりベクトル R'_i 、ベクトル Q'_{i+1} が得られるので、全体座標系での要素力ベクトルは次式より求出できる。

【数4】

$$\begin{Bmatrix} \overline{R}_i \\ \overline{Q}_{i+1} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \overline{\Lambda}_i & \overline{O} \\ \overline{O} & \overline{\Lambda}_i \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \overline{R}'_i \\ \overline{Q}'_{i+1} \end{Bmatrix} \quad (10)$$

ここで、

【数5】

$\overline{\Lambda}_i$: $x'_i - y'_i$ 系からX-Y系への座標変換マトリックス

$$= \begin{bmatrix} \cos \gamma_i & -\sin \gamma_i & 0 \\ \sin \gamma_i & \cos \gamma_i & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$\overline{0}$: 零マトリックス

【0027】

【基礎方程式の解法】(3)式の解法には、基本的にはNewton-Raphson法による数値計算法を用いた。(3)式を関数 $f(r, q)$ とすると、一次のTaylor展開より次のようになる

【数6】

$$\overline{f} + \frac{\partial \overline{f}}{\partial \overline{r}} \Delta \overline{r} + \frac{\partial \overline{f}}{\partial \overline{q}} \Delta \overline{q} = \overline{0} \quad (11)$$

【0028】また、オイラーパラメータの関係式より以下の式を導出できる。

【数7】

$$\frac{d \overline{q}_i}{dt} = \overline{\Gamma}_i \cdot \overline{\omega}'_i \quad (12)$$

ここで、 $\overline{\omega}'_i$ は i 質点座標系表示による全体座標系に対する回転角速度ベクトルである。

【数8】

$$\overline{\Gamma}_i = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} -q_1 & q_0 & q_3 & -q_2 \\ -q_2 & -q_3 & q_0 & q_1 \\ -q_3 & q_2 & -q_1 & q_0 \end{bmatrix}_i$$

【0029】(12)式は、オイラーパラメータの条件*

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial \overline{f}}{\partial \overline{r}} & \frac{\partial \overline{f}}{\partial \overline{q}} \overline{\Gamma} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \overline{r} \\ \Delta \overline{\pi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\overline{f} \end{bmatrix} \quad (15)$$

この式より、ベクトル $\Delta \overline{r}$ 、ベクトル $\Delta \overline{\pi}$ が求まり、収束解が得られるまで、次式により更新・反復される。

※【数13】

$$\overline{P} = \begin{bmatrix} \overline{r} \\ \overline{q} \end{bmatrix}_{new} = \begin{bmatrix} \overline{r} \\ \overline{q} \end{bmatrix}_{old} + \begin{bmatrix} \Delta \overline{r} \\ \overline{\Gamma} \Delta \overline{\pi} \end{bmatrix} \quad (16)$$

【0031】収束判定には目的関数値の最大ノルムを監視しているが、ホースの材料物性や断面性能により目的関数値の並進成分と回転成分のオーダーが大きく食い違う場合があり得る。従って、収束判定の基準値は並進成分と回転成分でそれぞれ設定した。

【0032】Newton-Raphson法のような反復解法では、

*式(4)を陰的に満たしている。したがって(12)式を利用することで(4)式を直接解く必要がなくなる利点が生じる。(12)式は、以下のように置くことができる。

【数9】

$$\frac{\Delta \overline{q}_i}{\Delta t} \approx \overline{\Gamma}_i \frac{\Delta \overline{\pi}_i}{\Delta t} \quad (13)$$

ここで、

Δt : 微小時間

$\Delta \overline{\pi}_i$: i 質点座標系軸回りの微小回転変位ベクトル

したがって、(13)式は、

【数10】

$$\Delta \overline{q}_i = \overline{\Gamma}_i \Delta \overline{\pi}_i \quad (14)$$

【0030】また、

【数11】

$$\Delta \overline{q} = \{\Delta \overline{q}_2^T \Delta \overline{q}_3^T \dots \Delta \overline{q}_{n-1}^T\}$$

$$\Delta \overline{\pi} = \{\Delta \overline{\pi}_2^T \Delta \overline{\pi}_3^T \dots \Delta \overline{\pi}_{n-1}^T\}$$

$$\overline{\Gamma} = \text{block diag} [\overline{\Gamma}_2 \overline{\Gamma}_3 \dots \overline{\Gamma}_{n-1}]$$

と表すと、(但し、block diagは小行列が対角線上に並ぶことを示す。) (11)式は次のようになる。

【数12】

初期値の与え方が収束までの反復回数に大きく影響する。したがって、良好なレスポンスを実現するためには程度の良い初期近似解を与える必要がある。ここでは、与えられたホース長と終端の拘束条件として与えられる端点の座標と接線ベクトルから三次元スプライン曲線を作成した。さらに同じく終端条件として与えられる主法

線ベクトルから捩れ量を算出し、これを各質点に等分配して方位を設定し、これを初期近似解とした。図7はこの初期値の設定の仕方を示す図である。

【0033】

【モデルの検証】図8は、計算によって求めたホース形状と、実際に取り回しを行ったホース形状の測定結果を比較したものである。比較に用いたホースは長さ600mm、外径10.5mm、内径3.4mmのもので、計算での要素分割数は20とした。また測定には接触式の三次元測定器を使用した。図中の曲線はホースの中心線を表している。計算と実測の最大差異は15.5mmと実用上十分な精度であり、本モデルの妥当性を示していると考えられる。なお図8の比較に用いた計算のレスポンス時間は、計算機はIBM3090/200Eを使用した場合27秒であり、対話処理に充分使用できると考えられる。

【0034】

【実施例】図9は以上説明した方法を用いた解析装置の構成例を示す。また図10はその動作の流れを示す。

【0035】図9において符号10は計算機、12はキーボードなどの入力手段、14はプリンタやCRTディスプレイやプロッタなどの出力手段である。これら入力手段12および出力手段14は、それぞれインターフェース16、18を介して計算機10に接続されている。20はメモリであり、前記した手法の動作プログラムや入力されたデータや計算途中あるいは計算結果などのデータがメモリされている。この動作プログラムにより計算機10は種々の動作を行う。例えば前記した釣り合い式(3)を求める解析手段22や、この釣り合い式

(3)を数値計算法により解くための演算手段24などの機能を持つ。

【0036】以上の動作を図10を用いてまとめて説明する。まず入力手段12によってホースのデータや両端の拘束条件などが初期条件として入力される(ステップ100)。計算機10では入力手段12による設定により、まず解析手段22において適宜数の質点と梁とに分割し、各要素に作用する要素力の演算を行う(ステップ102)。この演算は式(10)のベクトルR、Qを求めることに相当する。

【0037】次にこれら要素力を用いて式(3)の釣り合い式を演算手段24によって解く。ここにNewton法による数値計算法を行う場合には、式(3)の左辺の結果を残差力ベクトルfとして、

$$W - Q - R = f$$

を求める(ステップ104)。

【0038】この残差力ベクトルfが微量ベクトル α より大なら(ステップ106)、式(11)を用いてベ

クトルr、ベクトルqの修正量ベクトル Δr 、ベクトル Δq を求める(ステップ108)。そしてベクトルrをベクトル($r + \Delta r$)で置き換え、またベクトルqをベクトル($q + \Delta q$)で置き換えてステップ102以下の動作を繰り返す(ステップ110)。そして残差力ベクトルfが微量ベクトル α 以下になるとその時のベクトルr、ベクトルqが質点の位置と方向を示すことになる。従ってこの求めたベクトルr、ベクトルqを用いてホースの安定形状を決定することができる(ステップ112)。この結果は出力手段14から出力され、ホースと他の部品との干渉の有無などを予測するために用いられる。

【0039】

【発明の効果】本発明は以上のように、線状部材を任意数の質点と梁に分割し、各質点に対し梁理論による力の釣り合い式を求め、この式を数値計算法により解いて各質点の座標および方位を求めることにより、両端の拘束条件により決まる空間安定形状を予測するものである。従って特に変形量が大きい場合には、有限要素法のように微小変形の度に応力変化を求めながら計算を繰り返すものに比べて、計算量が著しく少なくなる。

【0040】また本発明によれば要素分割を十分に細かくすることにより変形量を十分に微小として歪みと応力の関係を線形とみなすことができる。このため計算から高次成分を除くことができ、演算の高速化とメモリ容量の減少とが可能である。

【0041】このように本発明によれば、演算の高速化が図れ、対話処理による設計作業による作業の能率向上も可能になり、またメモリが小さい計算機による解析も可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に用いる計算モデルの説明図

【図2】質点での力の釣り合いの説明図

【図3】要素力の説明図

【図4】オイラーパラメータの意味の説明図

【図5】各座標系と回転変位の説明図

【図6】要素座標系表示での要素力の説明図

【図7】初期値の設定を示す説明図

【図8】計算結果と実測結果の比較図

【図9】本発明の一実施例の構成図

【図10】その動作の流れ図

【符号の説明】

10 計算機

12 入力手段

14 出力手段

22 解析手段

24 演算手段

【図1】

$X-Y-Z$: 全体座標系

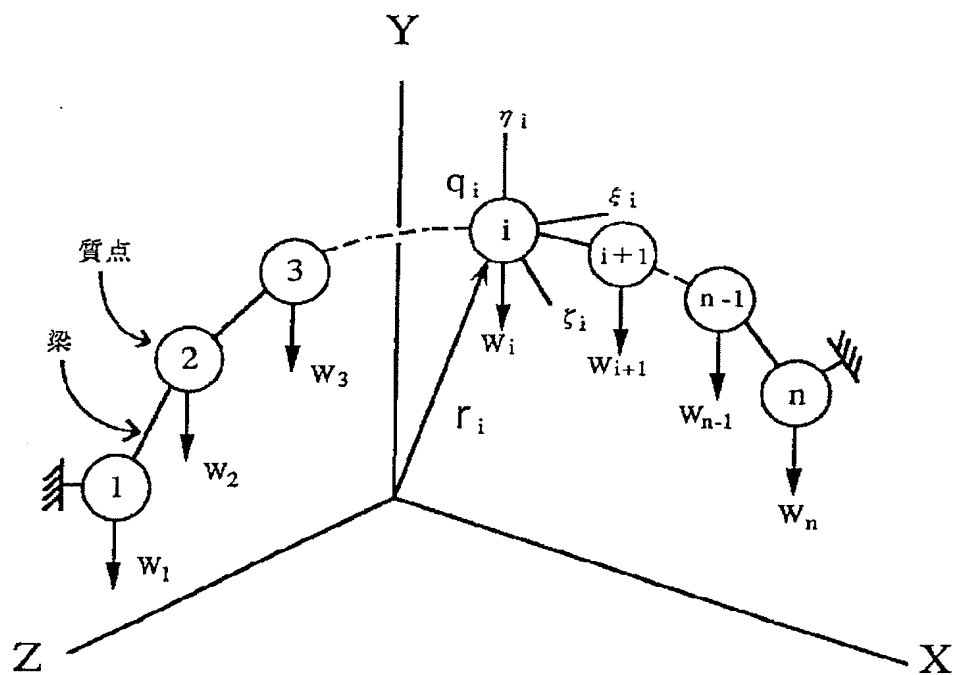
ξ_i, η_i, ζ_i : i 質点座標系

W_i : 質点 i に働く等価重量

r_i : 質点 i の位置ベクトル

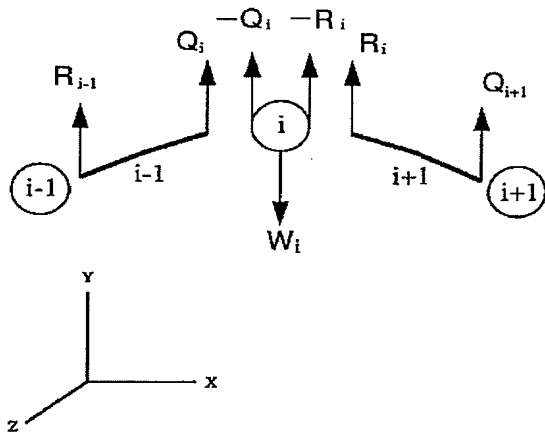
q_i : i 質点座標系の方位ベクトル
(オイラーパラメータ)

 : 位置、方位を拘束

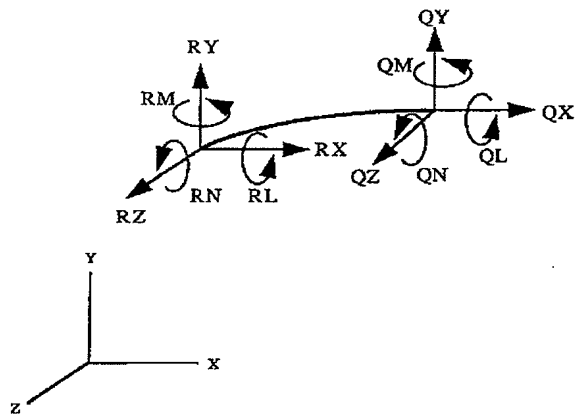


計算モデル

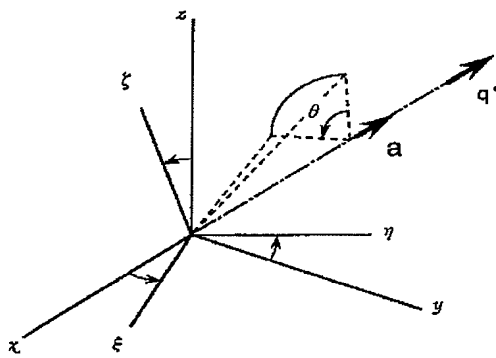
【図2】

質点での力の釣り合い

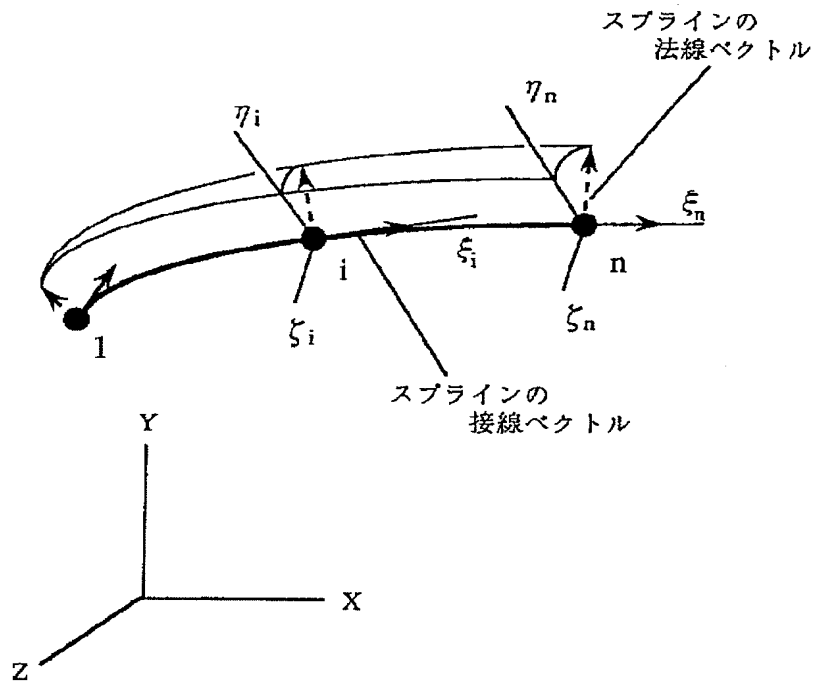
【図3】

要素力

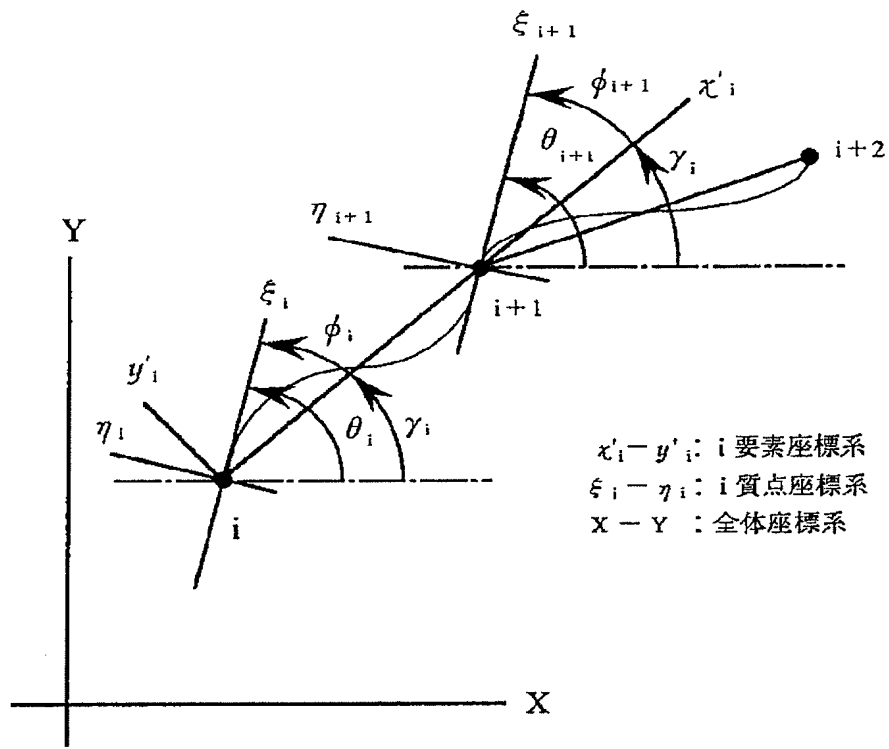
【図4】

要素力オイラーパラメータの意味

【図7】

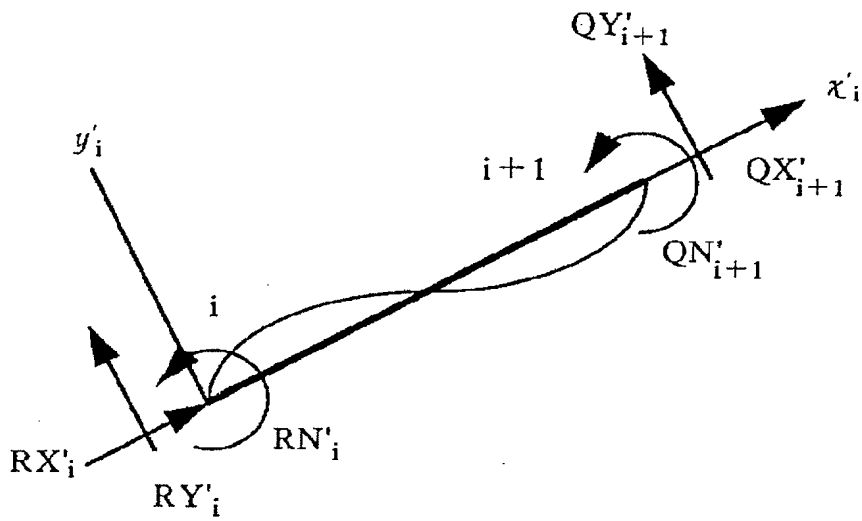
初期値の設定

【図5】



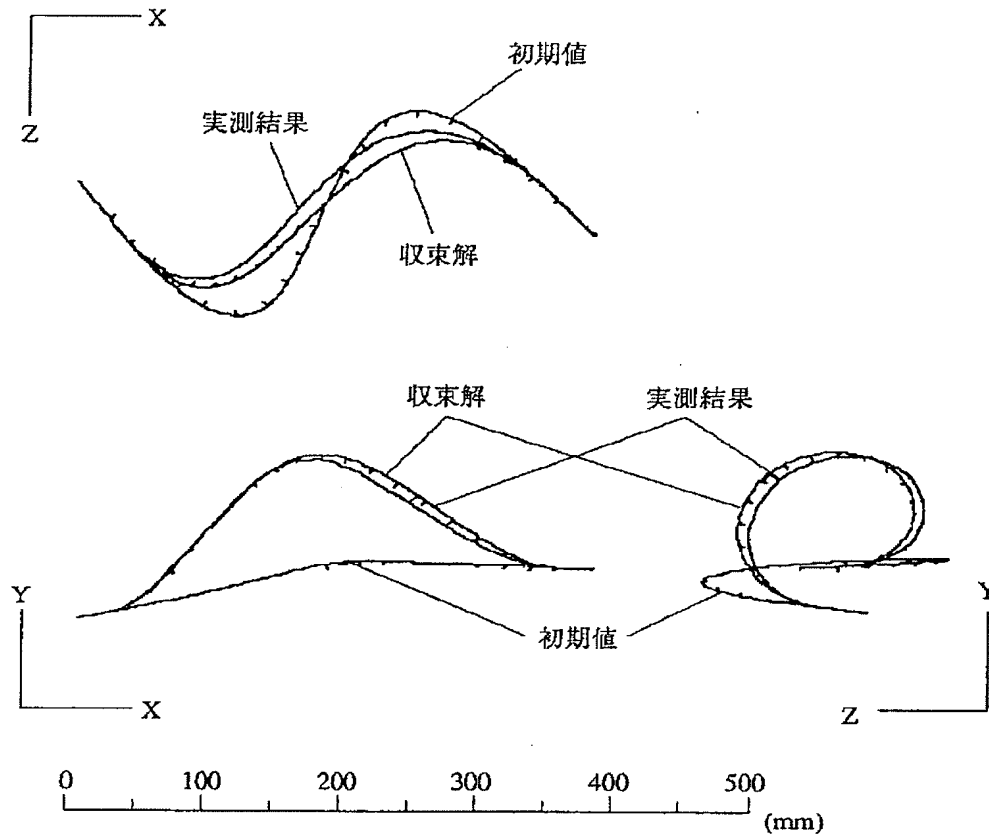
各座標系と回転変位

【図6】



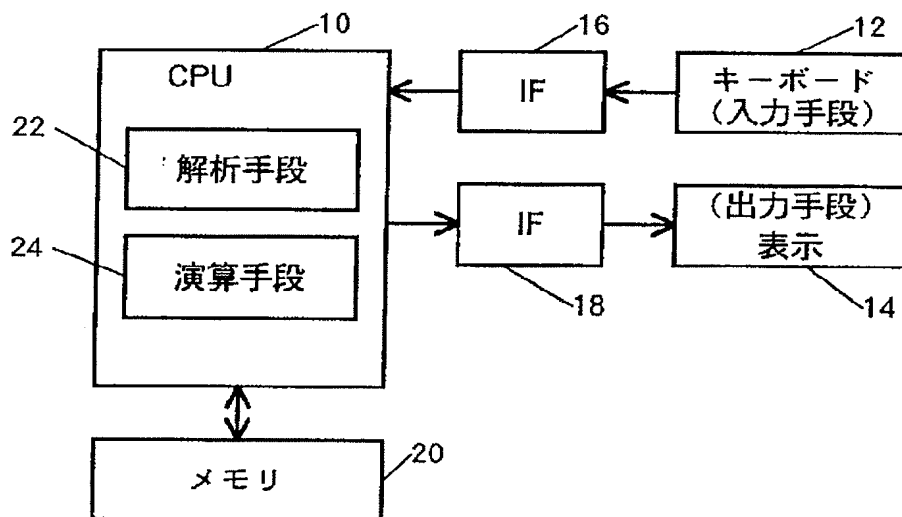
要素座標系表示での要素力

【図8】



計算と実測の比較

【図9】



【図10】

